

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 1 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22760503

研究課題名（和文）

局所的外部磁場下での磁性細線内磁壁伝搬条件の解明

研究課題名（英文）

Domain wall propagation condition in nanowire under a localized magnetic field

研究代表者

野村 光 (NOMURA HIKARU)

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：20506258

研究成果の概要（和文）：本研究では、レーストラックメモリにおけるプログラマブルピンングサイトの創製を目的とした。レーストラックメモリでは、狭窄構造等の特殊構造を用い、磁壁の動きを制限している。しかし、これら構造は、磁壁の動きを静的に決定してしまう。つまり、動作時にその条件を変更することができない。我々は、レーストラックメモリ中の磁性細線近傍に設置された、微小磁性体の磁化方向を制御することで、磁性細線内の磁壁伝搬条件を動的に制御できることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Here, we propose a programmable pinning site for racetrack memory. In racetrack memory, a notch structure is used to control domain wall propagation. However, with the notch structure, a condition of domain wall propagation is fixed at the design stage. With nanomagnets adjacent to a nanowire, the condition of domain wall propagation shows different value associated with combination of magnetization directions of the nanomagnets.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：金属物性

科研費の分科・細目：材料工学・金属物性

キーワード：スピニエレクトロニクス、磁気力顕微鏡、レーストラックメモリ、ピンングサイト、磁性ドット

1. 研究開始当初の背景

近年、モバイルデバイス等の普及に伴い、高集積化可能な新規データストレージデバイスが求められている。レーストラックメモリとは、磁性細線からなる新規データストレージデバイスである。磁性細線内の磁化の向きでデータを保持し、電流によりデータそのものを移動することができる。低消費電力、高

速動作、衝撃に対する高い耐性をゆうしてり、次世代を担うストレージデバイスとして期待されている。磁性細線内にピンングサイトと呼ばれる磁壁がとどまりやすい箇所を設けることでデータビットを定義している。一般的に、このピンングサイトとして、磁性細線の一部に設けられた狭窄構造等の特殊な形状が用いられている。これらピンングサイ

トにおける磁壁のピニング条件は、設計時に一意に定まる。このピニングサイトにおける磁壁のピニング条件を動作時に変化させることができれば、蓄えられたデータを部分的に移動することが可能になる。これにより、データの断片が起こらない理想的なストレージデバイス等の実現が可能となる。

2. 研究の目的

上述した背景を受け、本研究では、レーストラックメモリにおいて、動作時にピニング条件を変更可能な新規プログラブルピニングサイトの創製を研究目的とした。具体的には、磁性細線近傍に微小磁性ドットを設置し、隣接するこれら微小磁性体の発生する局所的な外部磁場を用いて、磁壁のピニング条件を変化させることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は、(1) 磁気力顕微鏡を用いた、磁性細線に隣接する磁性ドットの磁化方向に依存した磁壁のデピニング条件の検討ならびに(2)マイクロマグネティクスシミュレーションを用いた磁壁のデピニング条件の検討(3) 磁気力顕微鏡を用いた磁性ドットの磁性マニピュレーション条件に大別することができる。以下に詳細を記載する。

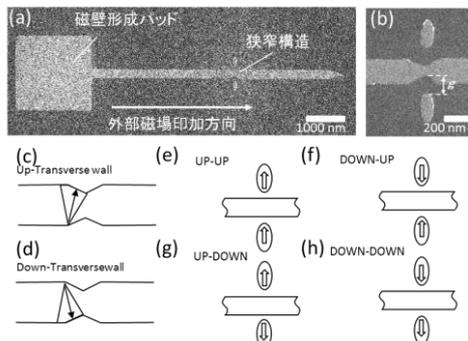


図1 (a)作製したプログラブルピニングサイトの走査型電子顕微鏡像。磁性細線内の磁壁の磁化状態の概要(c) Up-transverse wall, (d) Down-transverse wall と磁性ドットの磁化方向の組合せ(e) UP-UP, (f) DOWN-UP, (g) UP-DOWN, (h) DOWN-DOWN。

(1) 試料作製には、電子線リソグラフィ法ならびに、イオンビームスパッタリング法、リフトオフ法を用い、熱酸化 Si 上に膜厚 10 nm の Ni-20at.%Fe の磁性細線ならびに、磁性細線に隣接した2つの磁性ドットを作製した。磁性細線の線幅は 200 nm であり、中央に幅 200 nm、深さ 80 nm の両狭窄構造を有する。磁性ドットはこの狭窄構造を挟むように2つ設置され、ドットの長軸は 240 nm、単軸は 80 nm の長さを有するものを用いた。磁性細線の一端には、 $2 \times 2 \mu\text{m}^2$ の四角形の磁

壁形成パッドが設けられている[図1(a)]。磁性ドットの磁化状態制御ならびに磁壁伝搬条件の評価には、磁場掃引型磁気力顕微鏡を用いた。外部磁場を用い、磁性細線を長軸に沿った一方向に磁化させ、その磁化方向と逆向きの磁場を徐々に印可することで、磁壁がピニングサイトから抜ける(デピニング)磁場強度の磁性ドットの磁化状態依存性を測定した。

(2) マイクロマグネティクスシミュレーターには、object oriented micromagnetics framework (OOMMF)ならびに、磁壁電流駆動用の拡張モジュールを使用した。磁性細線ならびに磁性ドットはパーマロイから構成されると仮定した。磁性細線の構造として、線幅 160 nm、膜厚 8 nm を仮定し、狭窄構造を持たないとした。また、磁性ドットは、 $100 \times 50 \times 10 \text{ nm}^3$ のものを仮定し、磁性ドットの一端から細線までの距離を 20 nm とした。シミュレーションの初期条件として、磁性細線内部に Transverse wall を仮定した。また、磁性ドットの磁化状態は変化しないものとした。この磁性細線に電流が流れた場合、磁壁は電流の印可方向とは逆向きに移動する。この際、電流密度が十分に大きくなければ、磁性ドットからの局所磁場により、磁壁は磁性ドット近傍でトラップされる。本研究では、磁性ドットの磁化方向に依存した、磁性ドット近傍を磁壁が停止することなく通過できる最低電流密度を検討した。(3) 試料作製条件は、(1)で示した条件と同様のものを用いた。磁気力顕微鏡には、探針の外部制御が可能となっている SII 社製 SPA-300HV 特型を用いた。磁性マニピュレーションのための外部探針制御装置として、LabVIEW/Real time OS を用い独自に制御システムを構築した。

4. 研究成果

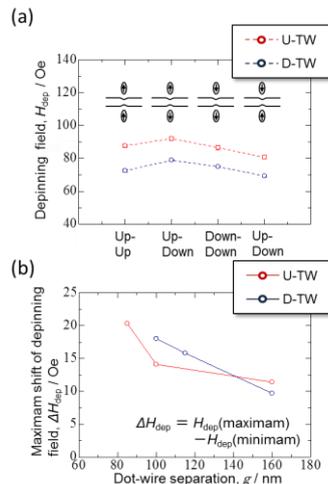


図2 (a) 磁性ドットの磁化状態に依存したデピニング磁場強度。(b) 磁性ドット・磁性細

線間距離に依存したデピニング磁場強度変化量。

(1) 磁気力顕微鏡を用い、磁性細線に隣接する磁性ドットの磁化方向に依存した磁壁のピンニング条件を検討した結果、磁壁のデピニング条件は、磁性細線に隣接する磁性ドットの磁化方向により制御可能であることが明らかとなった[図 2 (a)]。磁壁のデピニング条件は、隣接する磁性ドットの磁化方向ならびに、磁性細線内の磁壁構造に依存し変化した。また、上述した、磁性ドットの磁化状態に依存したデピニング磁場の変化量は、磁性ドット・磁性細線間距離の増加とともに減少した。このことから、磁性ドットの磁化方向により磁壁のデピニング条件を制御できていることが裏付けられた[図 2 (b)]。

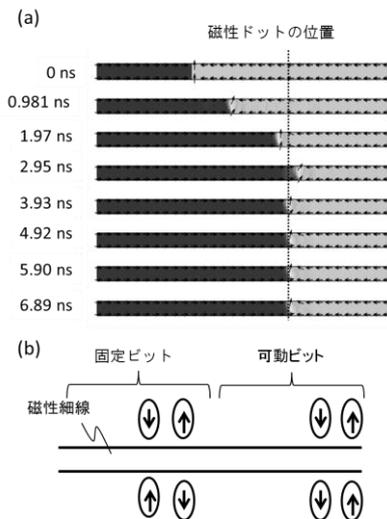


図 3 (a) 隣接する磁性ドットによりピンニングされた磁壁の一例。(b) レーストラックメモリにおけるプログラマブルピンニングサイトの概要図。

(2) マイクロマグネティクスシミュレータを用い、磁性細線に隣接する磁性ドットの磁化方向に依存した磁壁のデピニング条件を検討した結果、磁壁を電流駆動した場合でも、磁壁のデピニング条件は、磁性細線に隣接する磁性ドットの磁化方向により制御可能であることが明らかとなった[図 3(a)]。Up-transverse 磁壁を $1.3 \times 10^{12} \text{ A/m}^2$ 電流密度で駆動した場合、隣接する磁性ドットの磁化方向の組合せのうち UP-DOWN のもののみが磁壁をピンニングすることができた。このことから、本プログラマブルピンニングサイトを 2 つ連続して設け、その磁化状態を UP-DOWN, DOWN-UP とすることで、up-transverse wall、down-transverse-wall のいずれも止めることができることが分かった。また、磁性ドットをこれ以外の磁化状態に設定した場合、本プログラ

マブルピンニングサイトはピンニングサイトとして働かない[図 3(b)]。プログラマブルピンニングサイトとしての動作に適した電流密度は、磁性ドット・磁性細線間距離に依存し変化する。このため、実際の素子で利用する際は、多くのピンニングサイトの動作条件と一致するように磁性ドット・磁性細線間距離を最適化する必要がある。

(3) 磁気力顕微鏡探針を用いた磁性ドットの磁化制御条件を検討した結果、磁気力探針を探針の特定の位置へと垂直に近づけることで、磁性ドットの磁化状態を任意の向きの単軸構造、任意の回転方向の渦磁区構造を作製できることが明らかとなった。これにより、従来の水平方向に探針を制御する磁性マニピュレーション方法では困難であった、磁性細線に隣接する磁性ドットの磁化状態を任意に制御することが可能となった。

以上の結果から、磁性細線に隣接する磁性ドットは、プログラマブルピンニングサイトとして利用できることが明らかとなった。本研究成果をこれまでに提案されている磁性細線に基づくデバイスへと適用することで、その機能を拡張することが可能となる。例えば、本研究成果をレーストラックメモリに適用することで、局所的にデータの移動、挿入、削除が可能な、断片化の起こらない理想的なストレージデバイスが構築できる。今後は、本研究成果に基づき、実用化に向けた研究を実施する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

以下査読有り

[1] H. Nomura, Y. Imagana, Y. Hiratsuka and R. Nakatani, Clock field in arrayed magnetic logic gates with a magnetic force microscope tip, *Journal of Physics: Conference Series*, (掲載確定)

[学会発表] (計 18 件)

[1] H. Nomura, M. Komura, K. Kusakawa, S. Miura, Y. Imanaga, and R. Nakatani, Logic gate and shift register with magnetic quantum dots cellular automata, *Taiwan-Japan Nanophotonics and Plasmonic Metamaterials Workshop*, January 12, 2012, Taipei, Taiwan.

[2] K. Maehara, K. Toyoki, H. Nomura, and R. Nakatani, Vertical magnetization manipulation method for magnetic nanodot with magnetic force microscopy, *Taiwan-Japan Nanophotonics and*

Plasmonic Metamaterials Workshop,
January 11, 2010, Taipei, Taiwan.

[3] H. Nomura, Y. Hiratsuka, Y. Imanaga,
and R. Nakatani, Clock field in magnetic
quantum dots cellular automata with a
magnetic force microscope tip. Magnetism
and Optics Research International
Symposium 2011, June 6, 2011, Nijmegen,
Netherlands.

[4] H. Nomura, M. Komura, M. Kusakawa,
Y. Imanaga and R. Nakatani, NAND/NOR
logical operation with magnetic logic gate
(invited), PT-BMES with PTW-5, Tokyo
University of Science, Japan.

[5] K. Toyoki, M. Komura, K. Kusakawa, H.
Nomura, and R. Nakatani, Magnetization
Manipulation for Magnetic Logic Gate by
Magnetic Force Microscopy, International
Conference of The Asian Union of
Magnetism Societies, December 5, Lotte
Hotel Jeju, Jeju Island, Korea.

[6] 楠川将司、豊木研太郎、野村光、中谷亮
一、磁性細線に隣接した磁性ドットを用いた
プログラマブル・ピニングサイトの検討、
2010年9月25日、日本金属学会2010年秋
期(第147回)大会、2010年9月25日、北海
道大学。

[7] M. Kusakawa, H. Nomura, and R.
Nakatani, Domain wall depinning field
modification in magnetic nanowire with
magnetic dots, International Symposium
on Advanced Magnetic Materials and
Applications (ISAMMA), July 12, 2010,
Sendai, Japan.

(他 11 件)

〔図書〕 (計 0 件)

なし

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

なし

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野村 光 (NOMURA HIKARU)

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：20506258